

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-243420
(P2002-243420A)

(43) 公開日 平成14年8月28日 (2002.8.28)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
G 0 1 B 11/24		G 0 1 B 9/02	2 F 0 6 4
9/02		11/24	D 2 F 0 6 5
			A

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2001-42062(P2001-42062)

(22) 出願日 平成13年2月19日 (2001.2.19)

(71) 出願人 899000046

関西ティール・エル・オー株式会社

京都府京都市下京区中堂寺栗田町1番地

(72) 発明者 石丸 伊知郎

香川県高松市林町2217-20 香川大学工学部内

(74) 代理人 100095670

弁理士 小林 良平 (外1名)

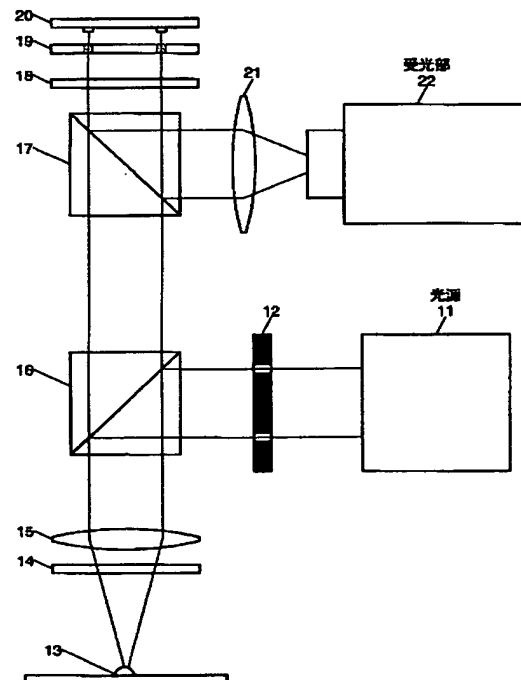
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 立体形状測定装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 被測定物の比較的広い範囲の立体形状を、短時間で、非接触に測定する。

【解決手段】 被測定物に光を照射した時の反射光のうち直接反射光 (0次光) を分岐光学系により位相可変フィルタの可動反射部に、高次回折光を固定反射部に導き、それぞれ反射した後、干渉光学系により略1点に収束させて両者を干渉させる。このような状態で、位相可変フィルタの可動反射部を、使用する光の波長の範囲内で移動させると、そこで反射される0次光の位相が固定反射部で反射される高次回折光の位相から徐々にずれ、干渉光学系の結像点における両光の干渉光の強度が徐々に変化する。干渉光の最大強度点での位相可変フィルタの可動反射部の位置は、被測定物における出発点 (反射点) と可動反射部との距離に依存するため、その位置より、出発点の位置を算出できる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 a)固定反射部と光軸方向に移動可能な可動反射部とを備えた位相可変フィルタと、
b)被測定物の各点から発する 0 次光を上記可動反射部又は固定反射部に、高次回折光を上記固定反射部又は可動反射部に、それぞれ導く分別光学系と、
c)上記反射された 0 次光と上記反射された高次回折光とを略同一点に導いて干渉させる干渉光学系と、
d)上記干渉光の強度を測定する受光部と、
e)可動反射部を上記光軸方向に移動させつつ、受光部で測定される上記干渉光の強度変化に基き、被測定物の各点の光軸方向の位置を決定する位置決定部と、を備えることを特徴とする立体形状測定装置。

【請求項 2】 位相可変フィルタの 0 次光を反射する部分の前方に減光フィルタを設けることを特徴とする請求項 1 記載の立体形状測定装置。

【請求項 3】 被測定物に投射する光を輪状とし、位相可変フィルタにおいて可動反射部をそれに対応する輪状としたことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の立体形状測定装置。

【請求項 4】 被測定物に関して光源と上記分別光学系とを同じ側に配置し、偏光を用いることにより光源から被測定物への光の投射を行う投射光学系と上記分別光学系とを共存させたことを特徴とする請求項 1～3 のいずれかに記載の反射型の立体形状測定装置。

【請求項 5】 被測定物に関して光源と上記分別光学系とを反対側に配置したことを特徴とする請求項 1～3 のいずれかに記載の透過型の立体形状測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ナノメートルオーダーの微細な立体形状を高速かつ容易に測定するための、光プローブ方式による立体形状測定技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】IT 産業の益々の発展を支えるための基幹産業である半導体業界が米国等の諸外国に対抗してゆくために、次世代半導体の開発は国家を掲げての重要プロジェクトといえる。この次世代半導体開発の成否は、ナノメートルオーダー(配線幅 0.1 ミクロン以下)の超微細構造の製造、検査プロセス技術の確立に委ねられている。

【0003】また、近年、集積度向上技術として、立体的に配線を行う多層配線技術は不可欠なものとなっている。そのため、ナノメートルオーダーの立体形状測定方法の確立が必須のものとなっている。

【0004】具体的な一例を挙げる。半導体素子の集積度を上げる為、回路パターンは細線化、多層化している。このため、ウェハ上に形成されるパターン段差を CMP (Chemical Mechanical Polishing、化学的機械的

研磨)などの平坦化技術を用いて低段差化する必要があるが生じている。CMP のプロセス条件を適切に設定するためには、予め各種条件毎に段差がどの程度除去されたかを測定して、それに応じて研磨剤や研磨時間等を修正する必要がある。また、日々の管理においても、段差除去状態を監視し、不具合を早期に発見して対策を施さなければならない。そのためにも、ナノメートルオーダーの段差を素早く簡便に測定する方法が必須となる。

【0005】従来のナノメートルオーダーの微細構造を評価する方法には、大別すると以下の 2 方式がある。

【0006】1)機械プローブ方式

原子間力顕微鏡 (AFM:Atomic Force Microscope) に代表される機械的なプローブ走査方式である。機械プローブ方式は 3 次元の形状を高精度に測定することが可能であるが、プローブを機械的に 2 次元的に走査する (プローブと被測定物とを相対的に移動させる) ものであるため、走査範囲 (=測定範囲) が狭いという欠点がある。また、機械的な走査であるため走査速度が遅く、高速な測定を行うことができない。

20 【0007】2)光プローブ方式

光の干渉を利用する方式であり、微分干渉計により代表される。光プローブ方式は高速測定が可能であるという特長を有するが、凹か凸かの判別が不可能であること、及び凹凸量の精密測定が難しいという欠点がある。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、凹凸により生じる光路差に起因した位相差情報を用いる方法に着目して成されたものである。

【0009】位相差情報を用いる方法としては、従来、位相差顕微鏡が知られている。位相差顕微鏡は、生物細胞内部の微妙な成分差により生じる光の光路長差を顕在化させ、目視可能な像にするという技術であり、細胞内部の構造の観察に有用に用いられている。

【0010】しかし、位相差顕微鏡では凹凸の認識はできるものの、その凹凸量(位相差量)の測定は不可能である。これは、位相差を生じさせるために用いられている位相フィルタがガラスで作成されているため、位相差が常に固定されていることに起因する。

【0011】位相差顕微鏡に関する従来技術には、高いコントラストを得たり十分な光量を確保するために位相板を工夫した例はあるが、立体形状を測定するために位相を任意に設定できる位相板、及びそれを組み込んだ例は無い。

【0012】例えば特開平 9-80313「位相差顕微鏡、それに用いられる光吸収体および位相板」では、それまで測定対象物の位相差量に応じて吸収率の異なる位相板を準備し、試料に応じて交換していたものを、吸収率を連続的に変化させてコントラストを向上させるための位相板を提供したものである。しかし、立体形状を測定するためのものではない。

【0013】また、特開2000-10013「位相差顕微鏡及び重ね合せ測定装置」に開示されている装置は、低段差ウェハアライメントマークを高いコントラストで得ると共に、十分な光量を確保することにより測定時間を短縮することを目的としたものであり、結像光学系の収差の影響を受ける程度が低く、従って正確な像を観察するという利点を持つ。しかし、これも立体形状を測定するものではない。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明に係る立体形状測定装置は、

- a) 固定反射部と光軸方向に移動可能な可動反射部とを備えた位相可変フィルタと、
- b) 被測定物の各点から発する0次光を上記可動反射部又は固定反射部に、高次回折光を上記固定反射部又は可動反射部に、それぞれ導く分別光学系と、
- c) 上記反射された0次光と上記反射された高次回折光とを略同一点に導いて干渉させる干渉光学系と、
- d) 上記干渉光の強度を測定する受光部と、
- e) 可動反射部を上記光軸方向に移動させつつ、受光部で測定される上記干渉光の強度変化に基き、被測定物の各点の光軸方向の位置を決定する位置決定部と、を備えることを特徴とするものである。

【0015】

【発明の実施の形態】上記構造を有する立体形状測定装置は、次のような原理で立体形状を測定する。まず、光源から被測定物に光を照射する。この光は被測定物の表面の或る点（以下、この点を出発点という）で反射される際、直接反射光（0次光）の他に高次回折光が生成される。このうち0次光は分別光学系により位相可変フィルタの可動反射部（又は固定反射部）に、高次回折光は固定反射部（又は可動反射部）に導かれる。0次光及び高次回折光は各部でそれぞれ反射された後、干渉光学系により略1点に導かれ、そこで両者は干渉して被測定物の出発点の像を結像する。

【0016】このような状態で位相可変フィルタの可動反射部を、使用する光の波長の範囲内で移動させると、そこで反射される0次光（又は高次回折光）の位相が、固定反射部で反射される高次回折光（又は0次光）の位相から徐々にずれてゆく。従って、干渉光学系の結像点における両光の干渉光の強度も徐々に変化してゆく。この干渉光の強度が最大となる点（或いは最小となる点等、何らかの特徴点）での位相可変フィルタの可動反射部の位置は、被測定物における出発点の位置（正確には、出発点と可動反射部との距離）に依存する。従って、この最大強度点（又は何らかの特徴点）での可動反射部の位置より、その出発点の位置を算出することができる。このような測定及び計算を被測定物の像を構成する各点について行うことにより、被測定物の立体形状を測定することができる。

【0017】本発明に係る立体形状測定装置は、上に述べたような外形形状測定その他、使用する光に対して透明な物体については、その内部の立体構造も測定することができる。それらの応用例については、以下の実施例において詳しく説明する。

【0018】

【実施例】図1は本発明に係る立体形状測定装置の一実施例の全体構成図である。単色光源11からは、或る直線偏光（例えばp偏光の光）が投射される。単色光源11から投射された偏光照明光は照明用リングスリット12を通過し、リング状の照明光となる。これは輪帯照明と呼ばれる。この輪帯照明光は偏光ビームスプリッタ16により図中下方に反射され、レンズ15により収束され、4分の1波長板（ $\lambda/4$ 板）14を通過して位相物体（被測定物）13を照射する。 $\lambda/4$ 板14は光の偏光状態を変えるものであり、本実施例の場合、直線偏光は円偏光となる。

【0019】位相物体13に照射された光は、その表面で反射する際、位相物体13の形状（照射方向の高さ）に応じて位相が変化する。位相変化を受けた反射光は、再び $\lambda/4$ 板14とレンズ15を通過して偏光ビームスプリッタ16に達する。

【0020】照射時と逆に、円偏光状態の反射光は $\lambda/4$ 板14を通過することにより、本実施例の場合s偏光となる。偏光ビームスプリッタ16はp偏光のみを反射するため、s偏光である反射光はそこを通過する。同様の理由により反射光は偏光ビームスプリッタ17も通過し、その上に設けられた第2の $\lambda/4$ 板18を通過する。この際、s偏光は円偏光となる。この光は減光フィルタ19を通過して位相可変フィルタ20に達する。

【0021】位相可変フィルタ20を図2及び図4により説明する。位相可変フィルタ20は、表面が反射平面となっている基板201上に、同様に表面が反射平面となっている可動リング202を埋設した構成を有している。詳しくは図4に示すように、可動リング202は、基板201に形成されたリング状の溝に埋設された駆動機構203により、基板201の表面に垂直な方向に上下動されるようになっている。この上下動の大きさは使用光の波長程度（可視光を使用する場合、最大800nm程度）で十分である。駆動機構203は、例えばピエゾ素子により構成することができる。

【0022】可動リング202の大きさ（直径）は上記照明用リングスリット12の大きさ（直径）に対応しており、輪帯照明光が位相物体13により反射され、上記各光学素子を通過して位相可変フィルタ20に至ったときにその0次光が丁度可動リング202上を照射するように設定されている。従って、位相物体13に照射された輪帯照明光の反射光のうち、1次以降の高次回折光は位相可変フィルタ20の基板201面を照射する。

【0023】減光フィルタ19は位相可変フィルタ20

の直前に配置されており、位相可変フィルタ 20 の可動リング 202 に対応する部分（減光部）191 において光の透過率が低く、その他の部分、すなわち基板 201 に対応する部分（透明部）192 において光を最大限透過させるように設定されている。これは、0 次光に対して高次の回折光成分の光量が非常に小さいことから、両光の光量のバランスをとるために行うものである。このような減光フィルタ 19 を挿入しない場合、後述する受光部 22 において 0 次光の影響が非常に大きくなり、高次回折光による変化が結像画像に反映されないためである。

【0024】減光フィルタ 19 を通過した反射光は位相可変フィルタ 20 の表面で反射され、復路で再び減光フィルタ 19 を通過して $\lambda/4$ 板 18 を通過する。この $\lambda/4$ 板 18 の通過により、円偏光である反射光は p 偏光になる。そのため、反射光は偏光ビームスプリッタ 17 において反射され、レンズ 21 により収束されて受光部 22 に入る。

【0025】次に、このような構成を有する本実施例の光学的作用の説明を行う。説明の便宜上、位相物体 13 の表面は図 3 に示すように、基準面 131 と、基準面から高さ h だけ突出した面（凸部）132 と、基準面から深さ d だけ落ち込んだ面（凹部）133 から構成されているものとする。位相物体 13 に照射された波長 λ の輪帯照明光がこれらの面で反射される際、凸部 132 で反射される光は基準面 131 で反射される光と比較すると位相が

$$\theta h = (2 \cdot h / \lambda) \times 2 \cdot \pi$$

だけ進んでいる。なお、雰囲気は大気で、屈折率は 1 とする。一方、凹部 133 で反射される光は基準面 131 で反射される光より位相が

$$\theta d = (2 \cdot d / \lambda) \times 2 \cdot \pi$$

だけ遅れている。

【0026】前記の通り、位相物体 13 で反射された光のうち 0 次光は位相可変フィルタ 20 の可動リング 202 に至り、高次回折光は位相可変フィルタ 20 の基板 201 面に至る。

【0027】図 4 (a) に示すように、可動リング 202 表面が基板 201 表面よりも距離 a だけ突出している場合、可動リング 202 表面により反射される 0 次光は基板 201 表面により反射される高次回折光よりも位相 θa (rad) だけ進む。

$$\theta a = (2 \cdot a / \lambda) \times 2 \cdot \pi$$

【0028】位相物体 13 の凸部 132 で反射された光のうち、0 次光は可動リング 202 表面により、高次回折光は基板 201 表面により、それぞれ反射されるが、両者は受光部 22 において干渉して結像する。そのため、受光部 22 において形成される位相物体 13 の像のうち、凸部 132 の輝度（受光強度）は、図 5 (a) に示すように基準面 131 からの反射光よりも位相 θh だけ

進んだ高次回折光と、それから更に位相 θa だけ進んだ 0 次光とのベクトル和となる。なお、上記の通り、これらのベクトルの大きさ（絶対値）は、減光フィルタ 19 の作用により同等程度となるように設定されている。便宜上、図 5（及び後述の図 6）では両ベクトルの大きさは同じとしている。

【0029】図 4 (b) に示すように、可動リング 202 表面が基板 201 表面よりも距離 b だけ低くなった場合、0 次光は高次回折光よりも θb (rad) だけ位相が遅れる。

$$\theta b = (2 \cdot b / \lambda) \times 2 \cdot \pi$$

【0030】この場合、上記同様、受光部 22 において形成される位相物体 13 の像のうち凸部 132 の輝度（受光強度）は、図 5 (b) に示すように基準面 131 からの反射光よりも位相 θh だけ進んだ高次回折光と、それから位相 θb だけ遅れた 0 次光とのベクトル和となる。

【0031】従って、駆動機構 203 により可動リング 202 の位置（基板 201 面からの距離）を変化させつつ、受光部 22 において受光される光（0 次光と高次回折光の干渉光）の強度を連続的に測定すると、受光強度は図 7 に示すように変化し、或る可動リング 202 の位置 m で受光強度は最大となる。この状態は、図 5 (c) に示すように、0 次光のベクトルと高次回折光のベクトルが同一方向を向いた場合に相当する。従って、測定された強度変化のグラフ（図 7 のグラフ）からその最大強度点を検出し、その点における 0 次光の位相変化 θm より次式のように位相物体 13 の凸部 132 の高さ h を算出することができる。

$$h = \lambda \cdot \theta m / (4 \cdot \pi)$$

【0032】位相物体 13 の凹部 133（深さ b ）で反射された光も同様に、0 次光が可動リング 202 表面で、高次回折光が基板 201 表面でそれぞれ反射され、受光部 22 における位相物体 13 の像の凹部 133 の部分において両光の干渉光が結像する。このうち、高次回折光は基準面 131 よりも位相 θb だけ遅れており、0 次光の位相は可動リング 202 の位置に応じて図 6 (a)、(b)、(c) のように変化する。従って、その最高強度における 0 次光の位相変化 θm より、凹部 133 の深さ b を次のように算出することができる。 $b = \lambda \cdot \theta m / (4 \cdot \pi)$

【0033】受光部 22 において CCD カメラのような 2 次元的にデータを取得できる装置を使用し、位相可変フィルタ 20 の可動リング 202 を移動させつつ受光部 22 において形成される位相物体 13 の像の各点においてこのような受光強度の検出を行うことにより、最終的に位相物体 13 の各点における高さ（深さ）を測定することができ、位相物体 13 の立体形状を測定することができる。

【0034】照明用リングスリット 12、減光フィルタ

1 9 及び位相可変フィルタ 2 0 の可動リング 2 0 2 は同一の形状でなければならないが、その具体的な形は上記のような円環状に限られず、例えば図 8 に示すように四角形環状とすることもできる。また、必ずしも環状とする必要もなく、図 9 (a) 又は (b) に示すように中央にのみ設けてもよい。例えば、光源がレーザのようなスポット径が非常に小さいものである場合、輪帯照明が作成しにくい。そのような場合は、図 9 (a) 又は (b) に示すようなスポット状の減光フィルタ及び位相可変フィルタを使用する。なお、図 1 0 に示すように、この場合、光源 3 1 自身がスポット状の光を投射するため、照明用スリットは不要である。

【 0 0 3 5 】 上記実施例では、投射した光を位相物体の表面で反射させてその立体形状を測定する立体形状測定装置として説明したが、本発明は、位相物体（被測定物）を透過した光を同様に検出する透過型装置としても利用することができる。この場合には、その位相物体の外形の立体形状の他、内部構造をも立体的に検出することができるようになる。すなわち、物体内部において物性の違いにより使用光（可視光、赤外線、紫外線）が散乱される箇所があれば、その箇所より 0 次光の他に高次回折光が放出されるため、上記原理によりその高さ（深さ）方向の位置を検出することができる。そのような透過型装置の構成例を図 1 1 に示す。この例においては、図 1 の例と異なり、光投射系と透過光解析系とが位相物体 1 3 を挟んで相対する位置にあるため、光投射系においては光源 4 1、照明用リングスリット 4 2 及びレンズ 4 3 だけでよく、投射光と反射光を分けるための偏光ビームスプリッタ 1 6 及び $\lambda/4$ 板 1 4 が不要となっている。透過光解析系の構成は図 1 のものと同様である。

【 0 0 3 6 】 また、スポット状投射光を用いた透過型測定装置の構成例を図 1 2 に示す。

【 0 0 3 7 】 本発明においては、位相可変フィルタの可動部の移動精度が測定精度に大きな影響を持つ。そのため、より高精度な形状測定を行う場合、位相可変フィルタの可動部の移動量を測定する手段を併用することが望ましい。図 1 3 に、図 1 の立体形状測定装置に位相可変フィルタ 2 0 の可動リング 2 0 2 の移動量を測定する手段を付加した実施例を示す。光源 8 1 からは特定の偏光状態（例えば s 偏光）の光が投射される。この光はハーフミラー 8 2 により 2 分され、一方はハーフミラー 8 2 を通過して直進し、他方の光は図中上方の反射鏡 8 4 に至る。ハーフミラー 8 2 を通過した光は偏光ビームスプリッタ 8 3 により図中上方に反射され、位相可変フィルタ 2 0 に至る。この光は位相可変フィルタ 2 0 の可動リング 2 0 2 で反射される際、その位置に応じて位相変化を受ける。位相変化された光は偏光ビームスプリッタ 8 3 で再び反射され、ハーフミラー 8 2 に至る。一方、ハーフミラー 8 2 で上方に反射された光は、上部の反射鏡 8 4 により反射され、ハーフミラー 8 2 に戻る。上部の

反射鏡 8 4 は固定されているため、こちらのルートで戻ってくる光の位相は常に一定である。従って、ハーフミラー 8 2 において合流した双方の光は、位相可変フィルタ 2 0 の可動リング 2 0 2 の位置（高さ・深さ）に応じてその干渉強度が変化する。

【 0 0 3 8 】 ハーフミラー 8 2 で合流した干渉光は図中下方に反射され、レンズ 8 5 により収束されて受光部 8 6 で結像する。この干渉光強度の変化を観測することにより、位相可変フィルタ 2 0 の可動リング 2 0 2 の移動量を測定することが可能となる。なお、これは一般に知られているマイケルソン干渉計を応用したものである。

【 0 0 3 9 】

【発明の効果】 本発明に係る立体形状測定装置は光の干渉を利用するものであるため、被測定物の形状をナノメートルオーダーで測定することができる。そして、機械的にプローブを走査するのではなく、被測定物を光学的に一挙に撮影し、その像を構成する各点の強度を検出するだけで立体形状を測定することができるため、大きな範囲で立体形状を測定することができるとともに、機械的に走査する場合と比較すると極めて短時間で測定を行うことができる。また、非接触で測定を行うため、非常に柔らかい物でも測定を行うことができるとともに、被測定物の硬さ（剛性）に左右されることなく客観性の高い、再現性の良い測定を行うことができる。

【 0 0 4 0 】 更に、本発明に係る透過型の装置を用いることにより、細胞の内部構造を立体的に測定する等も可能であり、バイオ関連の精密測定にも広い応用を考えることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 の実施例である反射型立体形状測定装置のシステム構成図。

【図 2】 第 1 実施例で用いる減光フィルタと位相可変フィルタの斜視図。

【図 3】 位相物体（被検物）表面の形状例を示す模式図。

【図 4】 位相可変フィルタにおける 0 次光と高次回折光の反射の様子を示す模式図。

【図 5】 0 次光、高次回折光及びその合流光の位相関係を示すベクトル図。

【図 6】 同じく 0 次光、高次回折光及びその合流光の位相関係を示すベクトル図。

【図 7】 位相可変フィルタの可動部を動かしたときに受光部で検出される合流光の強度変化を示すグラフ。

【図 8】 照明用スリット、減光フィルタ及び位相可変フィルタの他の形状の例を示す斜視図。

【図 9】 スポット状の減光フィルタ及び位相可変フィルタの例を示す斜視図。

【図 1 0】 スポット状投射光を用いる場合の実施例のシステム構成図。

【図 1 1】 透過型測定装置の実施例のシステム構成

図。

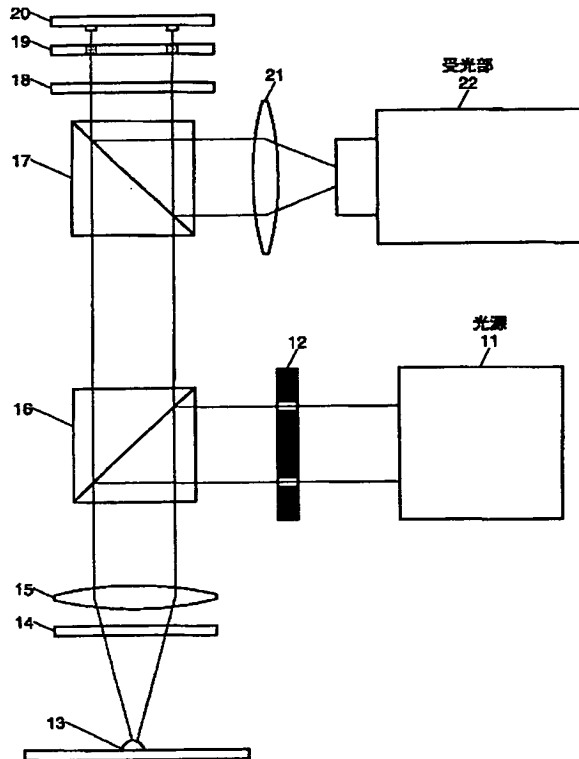
【図 12】 スポット状投射光を用いる透過型測定装置の実施例のシステム構成図。

【図 13】 位相可変フィルタの可動部の位置を正確に測定するための補助装置を設けた実施例のシステム構成図。

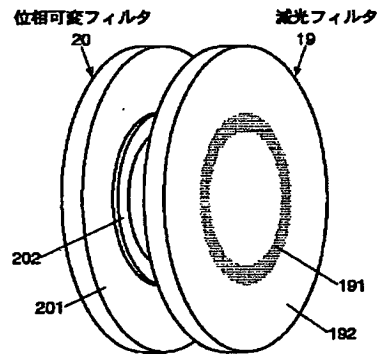
- 11、31、41、81…光源
12、42…照明用リングスリット
13…位相物体（被測定物）
131…基準面
132…凸部
133…凹部

- 14、18… $\lambda/4$ 板
15、21、43、85…レンズ
16、17、83…偏光ビームスプリッタ
19…減光フィルタ
20…位相可変フィルタ
201…基板
202…可動リング
203…駆動機構
22、86…受光部
82…ハーフミラー
84…反射鏡

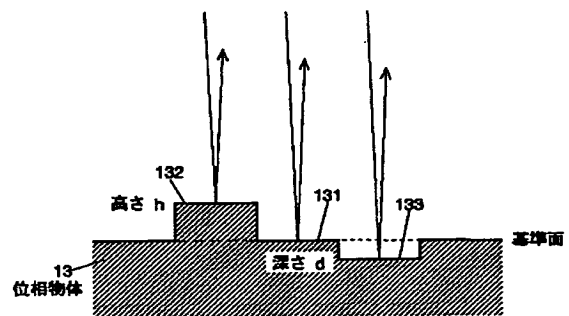
【図 1】



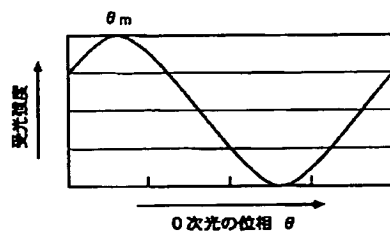
【図 2】



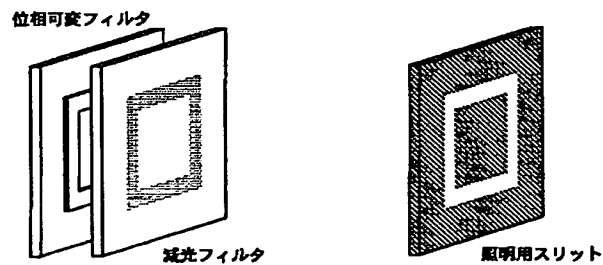
【図 3】



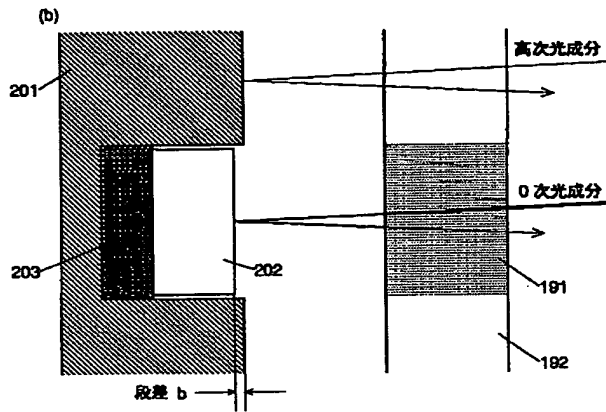
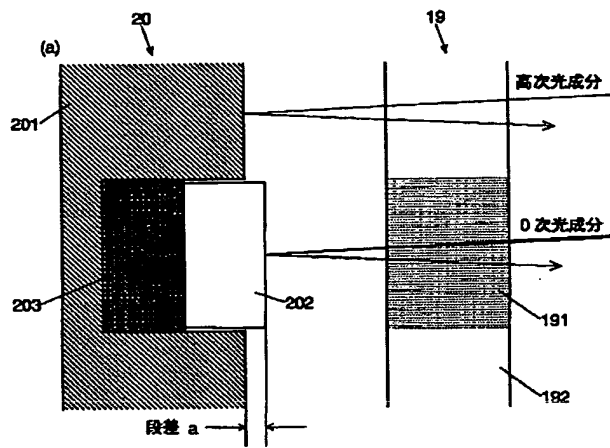
【図 7】



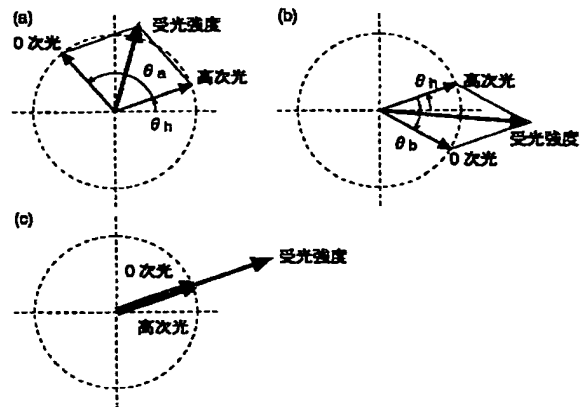
【図 8】



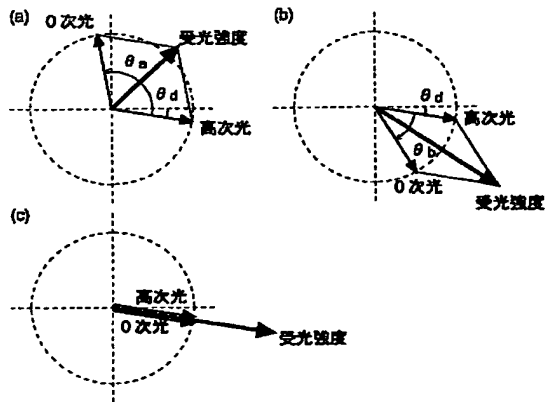
【図4】



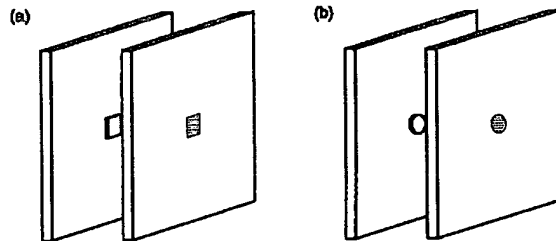
【図5】



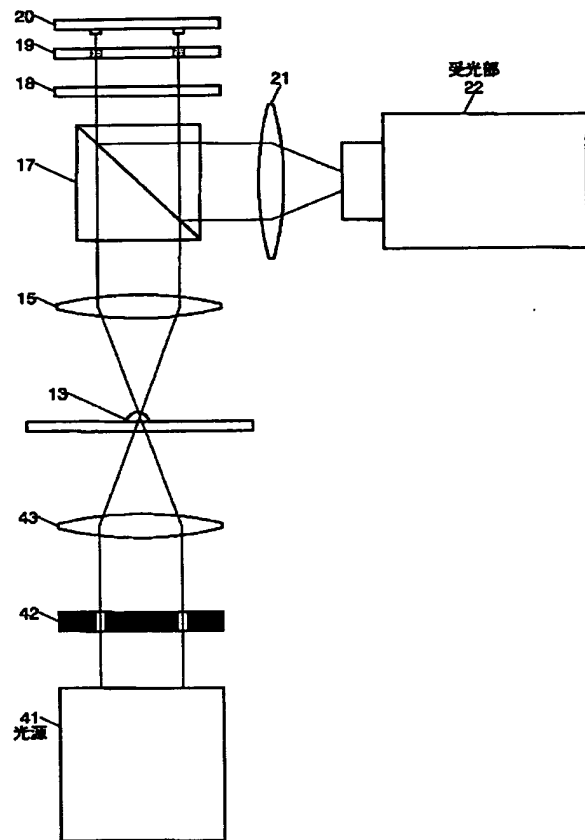
【図6】



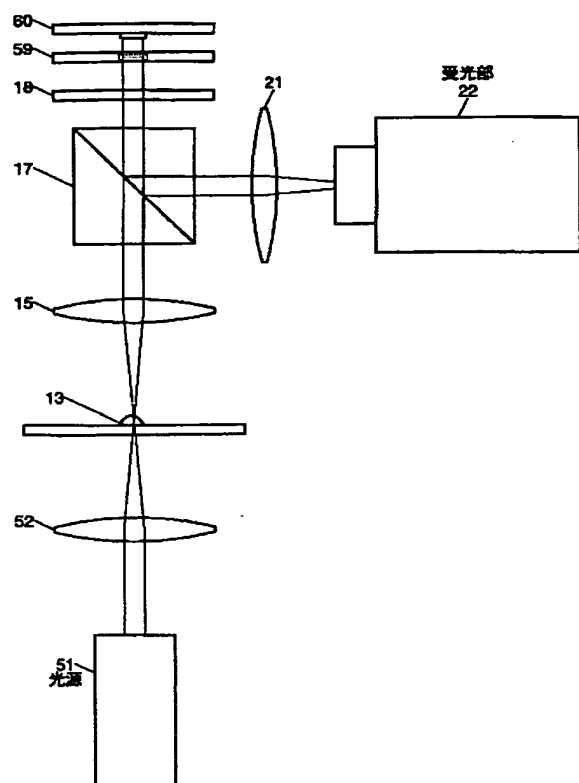
【図9】



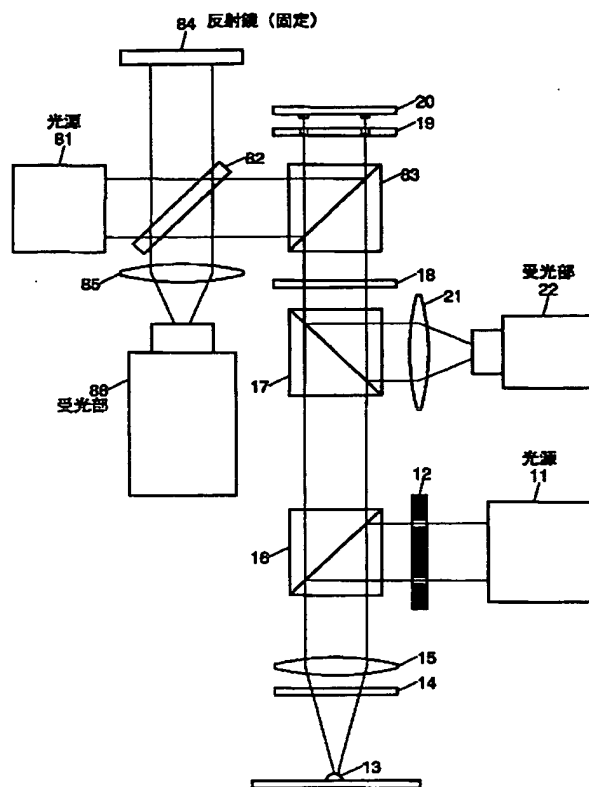
【图 1 1】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2F064 AA09 CC04 GG12 GG22 GG23
 GG37 GG38 GG41 GG44 GG51
 HH03 HH08
 2F065 AA53 DD03 DD06 FF01 FF48
 FF49 FF51 GG04 GG17 HH04
 HH13 JJ03 JJ09 JJ26 LL00
 LL04 LL12 LL24 LL28 LL30
 LL35 LL36 LL37 LL46